

**ВЕРХНЕ-ЯНКУЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 19 октября 1999 года**

*с  $M_S=4.4$ ,  $I_0=6-7$  (Северный Кавказ)*

**В.З. Фабрициус, З.Е. Фабрициус, П.В. Шавкань, И.П. Габсатарова, Р.С. Михайлова**

В центральной части Ставропольской возвышенности на территории Северного Кавказа 19 октября в 18<sup>h</sup>18<sup>m</sup> произошло ощутимое землетрясение с интенсивностью в эпицентре  $I_0=6-7$  баллов. Ближайшим к эпицентру населенным пунктом было село Верхний Янкуль, давшее название землетрясению. Несмотря на небольшую магнитуду, землетрясение зарегистрировано более чем 50-ю сейсмическими станциями на различных расстояниях [1, 2], в том числе 13-ю станциями, расположенными на территории Северного Кавказа, данные которых представлены в табл. 1. Сеть региональных станций, участвующих в определении параметров основного толчка, имели ближайшую станцию в пределах 30 км от эпицентра и обеспечили хорошее окружение эпицентра станциями (азимутальная брешь – 119°).

**Таблица 1.** Данные инструментальных наблюдений на региональных расстояниях для Верхне-Янкульского землетрясения 19 октября в 18<sup>h</sup>18<sup>m</sup> с  $K_p=12.1$

№	Станция		Фаза	$t_i$ , ч мин с	Фаза	$t_i$ , ч мин с	$\Delta$ , км	$K_p$	MPVA		
	Название	Код									
1	Нагутская	NAGR	iPg	18 18 52.78	eSg	18 18 57.46	28	13.1	4.5		
2	Гофицкое	GOF	-iPg	18 18 53.50	eSg	18 19 03.00	51				
3	Белый Уголь	BUG	-iPg	18 18 59.67	eSg	18 19 10.45	75				
4	Пятигорск	PYA	-iPg	18 19 00.00	eSg	18 19 11.8	78				
5	Кисловодск	KIV	iPg	18 19 00.46	eSg	18 19 11.80	81				
6	Кисловодск, ARRAY	KIV0	-iPg	18 19 00.00	eSg	18 19 11.80	81				
7	Шитжатмаз	SHAR	iPg	18 19 04.55	eSg	18 19 19.13	105				
8	Гумбаши	GUMR	iPg	18 19 04.51	eSg	18 19 18.91	108				
9	Куба-Таба	KUBR	iPg	18 19 06.87	eSg	18 19 23.74	113				
10	Цей	ZEI	iPn	18 19 23.0	Sg	18 19 54.0	234			12.0	4.6
11	Сочи	SOC	iPn	18 19 27.0	Sn	18 19 57.0	267			12.5	5.6
12	Анапа	ANN	iPn	18 19 44.5	Sg	18 19 31.0	416			11.9	
13	Махачкала	MAK	-iPn	18 19 47.0	Sn	18 19 03.00	433				
Среднее								$K_p=12.1$	MPVA=4.8		

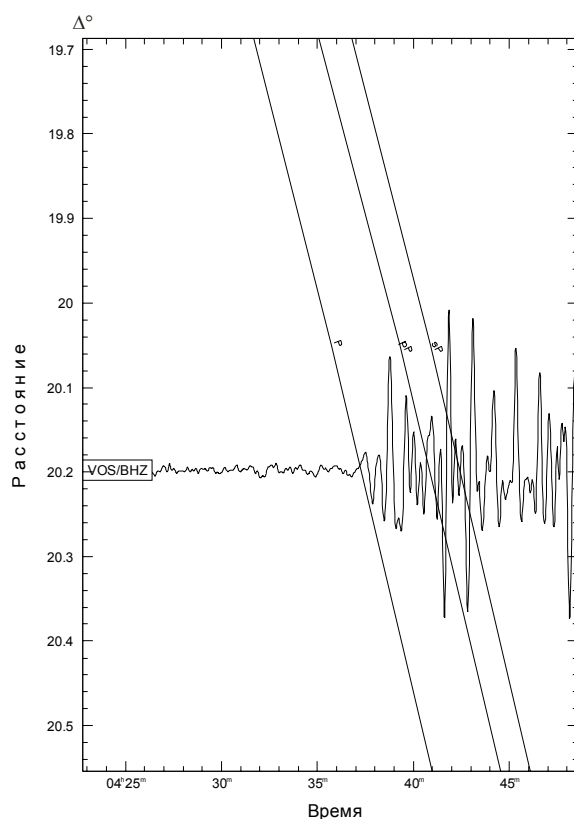
По этим данным получено следующее решение параметров землетрясения:  $\varphi=44.70^\circ N$ ,  $\lambda=42.68^\circ E$ ,  $h=13$  км,  $K_p=12.1$ . Сравнение этого решения с таковыми у других агентств дано в табл. 2, откуда видно, что разброс достигает ~30 км.

Для уточнения параметров гипоцентра основного толчка дополнительно были использованы данные станций соседних государств – Грузии и Азербайджана: шести грузинских – «Бечо» (БЕЧ), «Абастумани» (ABS), «Ахалкалаки» (АКН), «Амбролаури» (АМВ), «Они» (ОНИ), «Тбилиси» (ТИ2) [5], и восьми азербайджанских – «Гянджа» (GNC), «Губа» (QUB), «Загатала» (ZKT), «Шамахи» (SHX), «Исмаиллы» (ISM), «Шеки» (SHE), «Пиргулу» (PRL), «Баку» (BAK) [6]. Все эти данные были обработаны по программе LocSat [7] с использованием площадного годографа Кавказа [8]. Параметры уточненного очага также даны в табл. 2. При уточнении получена глубина гипоцентра  $h=7$  км с погрешностью  $\delta h=\pm 3$  км.

Для подтверждения значения глубины осуществлялся поиск глубинных фаз  $pP$  и  $sP$  на записях станций, удаленных на телесеismicкие расстояния. Наиболее отчетливое выделение фаз, которые возможно интерпретировать как глубинные, произвести однозначно не удалось. Однако на записях казахстанской станции «Восточное» (рис. 1), удаленной от эпицентра на  $\Delta=20^\circ$ , возможно выделение вступлений  $pP$  через 3.5 с и  $sP$  – через 5.5 с. Эти вступления соответствуют глубинам  $h=12-14$  км.

**Таблица 2.** Основные параметры Верхне-Янкульского землетрясения 19 октября 1999 г. по данным Северного Кавказа в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$	$h$ , км	$\delta h$ , км		
Северный Кавказ	18 18 45.3	0.8	44.70	0.03	42.68	0.03	13	1	$K_p=11.9$	[3]
Результаты уточнения	18 18 44.774	0.63	44.727	0.02	42.647	0.03	7	3	$K_p=12.1, MS=4.4$	
Крым	18 18 46.5	2.0	45.00		42.80				$K=12.0\pm 0.4$	[4]
MOS	18 18 43	1.53	44.99		42.62		10		$MS=3.7/10, MPSP=4.5/7$	[1]
ISC	18 18 43.1	0.32	44.95	0.04	42.69	0.06	10		$MS=3.9/4, m_b=4.3/18$	[2]
NEIC	18 18 42.8	0.43	44.99		42.65		10		$MS=4.4, m_b=4.4/18$	[2]
EIDC	18 18 43.6	0.93	44.88		42.59		0		$MS=3.7/8$	[2]
ВЛ	18 18 45.8		45.0		42.6		10		$MS=4.0, Mb=4.7$	[2]
LDG	18 18 47	0.3	44.53		42.31		33		$MS=3.6/5, Mb=4.3/10$	[2]



**Рис. 1.** Фрагмент записи Верхне-Янкульского землетрясения на станции «Восточное» (канал ВНЗ, Казахстан)

Обычно для расчета интенсивности сотрясений  $I$  используется значение магнитуды по поверхностной волне  $MLH$  ( $MS$ ). Магнитуда  $MS$  для Верхне-Янкульского землетрясения рассчитана по 10 станциям на расстояниях  $\Delta=2.52^\circ-53.5^\circ$  (табл. 3). Из табл. 3 видно, что значения магнитуды  $MS$  на расстояниях  $\Delta=2.52^\circ-3.69^\circ$ , близких к эпицентру, занижены на 0.3–0.4 единицы магнитуды относительно остальных. Также занижена магнитуда по данным станции SMAR (Chiang Mai Array). Следует отметить, что замеры на этой станции произведены по методике, отличной от принятой в ГС РАН. По среднему значению энергетического класса  $K_p=12.1$  (табл. 1) и пересчетной формуле из [9]:

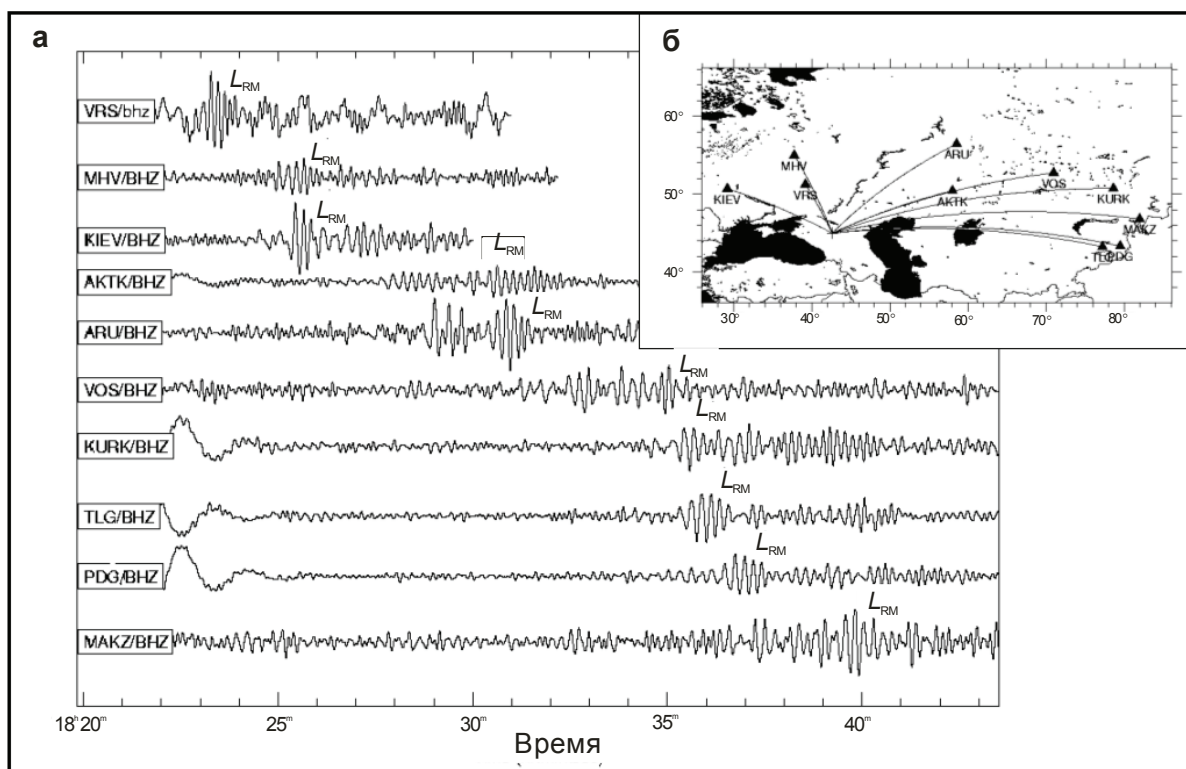
$$K=1.8 M + 4$$

магнитуда  $MS$  должна быть выше, чем опубликовано в [1].

**Таблица 3.** Инструментальные данные из [1] для расчета магнитуды  $M_S$  Верхне-Янкульского землетрясения

№	Станция		$\Delta^\circ$	$AZM^\circ$	$A, \mu$	$T, c$	$M_S$
	Название, район	Код					
1	Сочи (Сев.Кавказ)	SOC	2.52	237	4.5	10	3.6
2	Анапа (Сев.Кавказ)	ANN	3.69	269	2.5	14	3.5
3	Кишинев (Карпаты)	KIS	9.82	287	0.9	13	3.8
4	Москва (БЕП)	MOS	11.2	345	0.6	10	3.8
5	Печеры (БЕП)	PECR	11.4	4	1.6	12	4.2
6	Арты (Урал)	ARU	15.2	36	0.5	11	3.9
7	Свердловск (Урал)	SVE	16.4	37	0.5	11	4.0
8	Ловозеро (БЕП)	LVZ	23.3	352	0.3	17	3.8
9	Талая (Байкал)	TLY	40.0	58	0.1	16	3.8
10	Chiang Mai Array (Таиланд)	CMAR	53.5	101	0.6	20	3.6
Среднее значение $M_{S1}$ по [1]							3.7
Среднее значение $M_{S2}$ без ANN, SOC, CMAR							3.9

Для уточнения значения  $M_S$  основного толчка дополнительно были обработаны записи станции «Киев» (KIEV, IRIS-USGS), на которой установлена широкополосная аппаратура, станции «Михнево» (MHV, GEOPHON, Институт динамики геосфер) и шести станций Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК) [10] (рис. 2), данные которых приводятся в табл. 4.



**Рис. 2.** Волновые формы (а), фильтрованные в полосе 0.01 – 0.1 (Баттерворт, порядок 3), с записью поверхностных волн Релея с фазой Эйри (помечено LRM) на различных эпицентральных расстояниях (табл. 4) и схема расположения этих станций относительно эпицентра (б)

Выявлена азимутальная неоднородность полученных значений магнитуды  $M_S$  на записях казахстанских станций. Она выше в среднем на 0.5 единицы в пределах орогенной области, достигая значений  $M_S=4.6-4.8$  по станциям «Талгар», «Подгорное», «Маканчи», но ниже

( $MS=4.3-4.5$ ) – в Казахском массиве по станциям «Актюбинск», «Восточное», «Курчатов». Еще меньшие значения ( $MS=3.8-4.2$ ) дают станции, расположенные на Восточно-Европейской платформе и Урале (рис. 3). По результатам проведенного исследования принято среднее значение магнитуды  $MS$  по поверхностной волне, равное 4.4. Эта величина согласуется с энергетическим классом по региональным станциям.

**Таблица 4.** Дополнительные инструментальные данные для расчета магнитуды  $MS$  Верхне-Янкульского землетрясения

№	Станция		$\Delta^\circ$	$AZM^\circ$	$A, \mu$	$T, c$	$MS$	Территория
	Название	Код						
1	Киев	KIEV	10.6	307	0.9	13	4.0	Восточно-Европейская платформа
2	Михнево	MHV	10.7	344	0.6	12	3.8	Восточно-Европейская платформа
3	Актюбинск	AKTK	11.6	56	2.0	11	4.3	Казахский массив
4	Восточное	VOS	20.2	57	1.0	14	4.3	Казахский массив
5	Курчатов	KURK	24.7	63	0.9	10	4.5	Казахский массив
6	Талгар	TLG	24.8	81	2.3	14	4.8	Северный Тянь-Шань
7	Подгорное	PDG	26.7	80	2.2	16	4.8	Северный Тянь-Шань
8	Маканчи	MAKZ	27.3	71	1.2	15	4.6	Северный Тянь-Шань
Среднее значение $MS$							4.4	



**Рис. 3.** Азимутальная диаграмма значений магнитуды  $MS$  Верхне-Янкульского землетрясения

Верхне-Янкульское землетрясение предварялось двумя форшоками и имело четыре афтершока. По данным сейсмической станции «Гофицкое», из-за наложения записей двух афтершоков 20 октября в  $19^h58^m56.3^s$  и  $19^h59^m28.0^s$  выделение сейсмических фаз для этих событий было затруднено, о чем говорят значительные временные невязки, полученные при локализации их очагов по программе НУРО-71. Ближайший пункт – «Нагутская» (эпицентральное расстояние 28–30 км), – входил в радиотелеметрическую систему сбора локальной сети Кавказских Минеральных Вод, которая в 1999 г. производила регистрацию в ждущем режиме. Поэтому эта станция зарегистрировала только четыре из семи землетрясений, приведенных в табл. 5: один форшок, основной толчок и два афтершока. Из них записи форшока в  $17^h56^m$  и двух афтершоков в  $18^h25^m$  и  $19^h59^m$  показаны на рис. 5. Вид волновой картины, а именно наличие довольно длительной коды колебаний (около двух минут) и четко выраженных цугов поверхностной волны  $R_g$  на этой станции, говорит скорее о близповерхностном источнике ( $h$  не более 5–10 км), хотя отчасти могут объясняться и условиями расположения станции, которая находится в южной части Предкавказской эпигерцинской плиты, точнее на Ставропольско-Минераловодском поднятии с довольно мощным осадочным слоем (до 3 км). На записях других станций в районе Кавказских Минеральных вод таких интенсивных поверхностных волн не отмечается. В табл. 5 приводятся также коды региональных станций Северного Кавказа и интервал эпицентральных расстояний для станций, зарегистрировавших толчки в Верхнем Янкуле.

Таблица 5. Основные параметры форшоков и афтершоков Верхне-Янкульского землетрясения

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , м	$K_p$	$\Delta_{\min}-\Delta_{\max}$ , км	Коды региональных станций, зарегистрировавших землетрясение
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E				
<b>Форшоки</b>								
1	19.10	16 57 16.2	$t_S-t_P=$	9 с	14	~ 6	70	GOF NAG GOF BEY KIV K10 K11 PYA GUM SHA KUB ZEI
2	19.10	17 56 05.5	44.46	42.54		7.2	40–250	
<b>Основной толчок</b>								
	<b>19.10</b>	<b>18 18 45.3</b>	<b>44.70</b>	<b>42.68</b>	<b>13</b>	<b>12.1</b>	<b>28–430</b>	NAG GOF BEY BUG PYA KIV K10 K11 SHA GUM KUB ZEI SOC ANN MAK
<b>Афтершоки</b>								
1	19.10	18 25 17.5	44.68	42.51	13	8.1	34–240	NAG GOF BUG BEY Kiv K11 K12 K10 GUM SHA KUB ZEI
2	20.10	19 58 56.3	44.86	42.35	21	6.5	100–140	
3	20.10	19 59 28.0	44.61	42.44	5	9.5	32–230	BEY BUG KIV GUM SHA KUB NAG GOF BEY BUG KIV K10 PYA GUM SHA KUB ZEI
4	20.10	20 40 15	$t_S-t_P=$	11 с		8.7	85	GOF

Согласно табл. 5, величина энергетической степени между главным толчком и максимальными форшоком и афтершоком составляет:

$$\Delta K_\phi = 12.1 - 7.2 = 5.1, \Delta K_a = 12.1 - 9.5 = 2.6.$$

Такая большая разница в названных энергетических уровнях свидетельствует о повышенной прочности среды, вмещающей очаги [11]. Согласно [12], в зонах пониженной прочности значения  $\Delta K_a$  не превышают одного порядка.

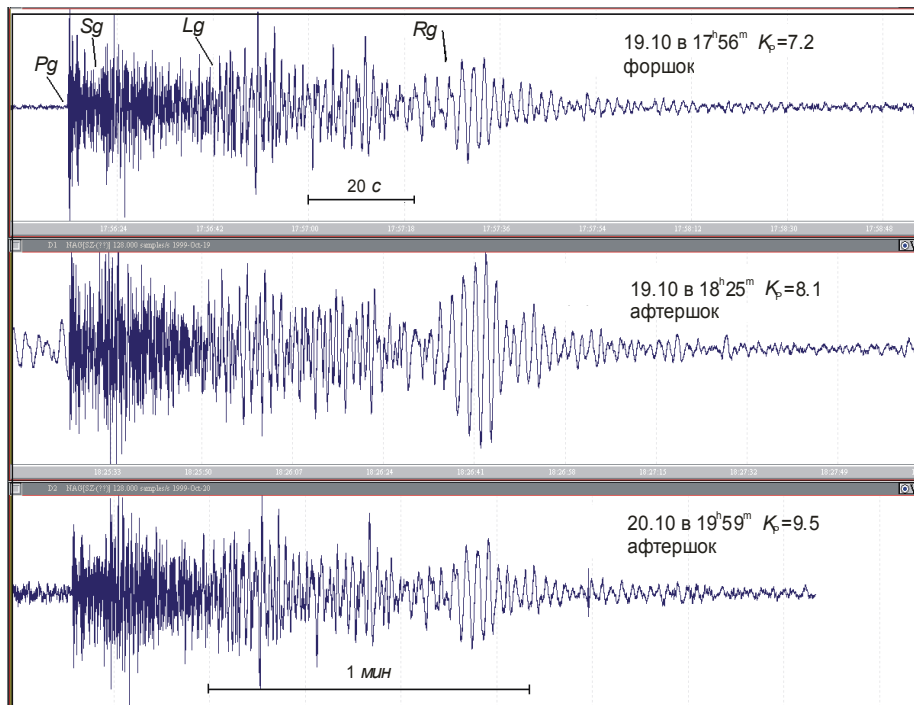
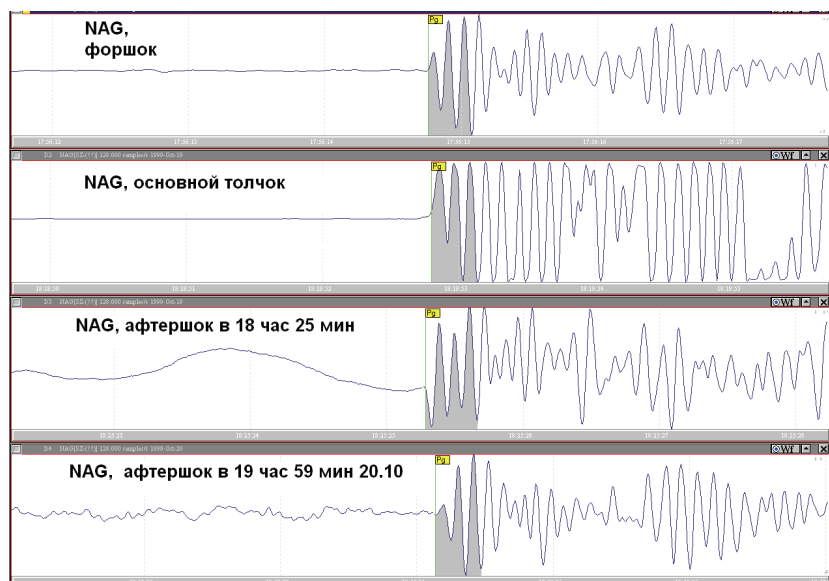


Рис. 4. Записи вертикальной компоненты форшока и двух афтершоков Верхне-Янкульского землетрясения на пункте наблюдения «Нагутская»

Следует отметить также, что на записях станции «Нагутская» наблюдается изменение полярности первого вступления: форшок и основной толчок характеризуются волной сжатия, а афтершок, возникший через семь минут после основного толчка – волной разрежения (рис. 5).

Затем на записи следующего афтершока снова регистрируется волна сжатия, правда, с менее интенсивным началом. На записях других сейсмических станций на больших расстояниях с  $\Delta=100\text{--}150\text{ км}$  такого изменения знаков вступлений  $P$ -волн не наблюдается.



**Рис. 5.** Фрагменты записи станцией «Нагутская» форшока (19 октября в  $17^{\text{h}}56^{\text{m}}$ ), основного толчка (19 октября в  $18^{\text{h}}18^{\text{m}}$ ) и двух афтершоков (19 октября в  $18^{\text{h}}25^{\text{m}}$  и 20 октября в  $19^{\text{h}}59^{\text{m}}$ ), показывающие изменение полярности первого вступления

По результатам **макросейсмических обследований** максимальная интенсивность сотрясений  $I=6\text{--}7$  баллов отмечена в селе Верхний Янкуль. Ощущали все жители. Спящие проснулись. Возникла паника, люди выбежали на улицу. Перед землетрясением и во время него был слышен сильный гул. Землетрясение началось резким толчком снизу, через 2–3 с последовали сильные горизонтальные колебания в направлении с запада на восток. Теряли равновесие не только стоящие люди, но и сидящие. В результате землетрясения на всех домах произошло полное обрушение труб. Слетала черепица с крыш, рамы выпадали из стен. В некоторых саманных домах образовались сквозные трещины в стенах, раскалывалась штукатурка и частично обваливалась, в других домах образовались трещины между печами и стенами, падали с полок посуда и банки с заготовками на зиму. Двигались предметы по столам, шкафам. В двухэтажном блочном доме (на втором этаже) сдвинулись плитовые перекрытия потолка и образовалась щель в 10 см. До землетрясения беспокоились собаки, во время толчков стоял лай и вой.

Сотрясения с  $I=6$  баллов имели место в селе Новый Янкуль (10 км). Ощущало все население. Возникла паника. От толчка отключился свет. Все отметили гул. Около  $18^{\text{h}}$  раздался сильный хлопок, а потом слабые колебания (форшок в  $17^{\text{h}}56^{\text{m}}$  (табл. 5)), после чего наступила тишина, резко успокоился сильный ветер, в  $18^{\text{h}}18^{\text{m}}$  раздался сильный гул и резкий основной толчок, через несколько секунд, в  $18^{\text{h}}25^{\text{m}}$ , – второй, более слабый (афтершок). Колебания – в направлении восток-запад. Во многих домах произошло растрескивание штукатурки и ее частичный обвал. Очень сильно качались люстры, звенела посуда, дребезжали стекла, двигались мелкие предметы, беспокоились собаки (по ул. Октябрьской). В здании школы (блочное, двухэтажное, толщина стен около 60 см), построенном в 1974 г., образовались внутренние межшовные трещины в стенах и произошел обвал штукатурки из межплитных соединений. Сильнее пострадал первый этаж. На участке № 20 (5 км западнее села) треснул пополам и покосился саманный дом. На МТФ (2 км северо-западнее села) треснули плитовые перекрытия. По дороге к с. Верхний Янкуль на южном склоне образовалось много новых и частично обновилось большинство старых оползней.

20 октября большинство людей ощущали два толчка с интервалом  $\sim 30$  с, сопровождавшихся гулом, причем первый был сильнее. Судя по имеющимся инструментальным данным (табл. 5) это может соответствовать двум афтершокам: в  $19^{\text{h}}59^{\text{m}}$  и в  $20^{\text{h}}40^{\text{m}}$ .

Сотрясения с  $I=5$  баллов наблюдались в двух селах: Янкуль и Сергиевское.



В селе Янкуль они были замечены всем населением, большинство проснулись. Толчки ощущались в направлении восток–запад длительностью до 1 минуты: первый – резкий вертикальный, затем – более слабые горизонтальные колебания. Возникла паника, люди выбежали на улицу и долго не заходили в дома. Сильно звенела посуда и дребезжали стекла. Двигались мелкие предметы на столах и телевизорах. Во многих саманных домах произошло растрескивание штукатурки. Беспokoились собаки (по ул. Красной). Кирпичное здание сельской школы (постройка 1975 г.) еще до землетрясения было все в трещинах, обтянутых скобами. В результате землетрясения образовались новые трещины, не стянутые скобами.

В Сергиевском землетрясение ощущали все жители, спавшие проснулись. Некоторые ощутили два толчка, большинство отметили постепенное нарастание колебаний около 1 минуты, а затем их спад. Все слышали гул. Толчки ощущались в направлении восток-запад. Открывались двери, кровати и мебель стучали в стены, двигались мелкие предметы на столах, телевизорах, комодах. Сильно качались люстры и лампочки. Звенела посуда, дребезжали стекла. Образовались трещины в штукатурке. Беспokoились собаки (по ул. Карла Маркса и Юбилейной).

Колебания с интенсивностью  **$I=4-5$  баллов** наблюдались в селах Северное и Октябрь.

В Северном они ощущались большинством населения, спавшие проснулись от толчков. Большинство слышали гул. Некоторые ощущали два толчка. Длительность колебаний – от 10 секунд до 1 минуты. Качались лампочки и люстры, дребезжала посуда, сдвинулись мелкие предметы на телевизорах и комодах. Колебания были в направлении юго-запад. Образовались трещины в штукатурке. Беспokoились животные: до землетрясения лаяли собаки (по ул. Ленина и Крупской), а во время него – кричали гуси и лаяли собаки. На ул. Крупской треснул пополам дом, хозяева отметили плохое качество строительства (большой подвал). По дороге Сергиевское–Александровское на северном склоне образовалось много новых оползней и обновились старые.

В селе Октябрь землетрясение ощущалось всеми жителями, большинство проснулись от толчков. Многие слышали гул. Качались лампочки и люстры, дребезжала посуда, некоторые ощущали два толчка. Образовались мелкие трещины в штукатурке.

Интенсивность в  **$I=4$  балла** отмечена в восьми селах:

В с. Кианкиз землетрясение ощущалось многими жителями, некоторые проснулись от толчков. Открывались дверцы шкафов, качались люстры, дребезжала посуда и стекла. В Калиновском ощущали два толчка. Первый толчок с запада, затем сильные колебания в направлении север-юг. Некоторые слышали слабый гул. Многие от толчка проснулись. Качались лампочки и люстры. Дребезжали стекла, как от проезжающего грузовика. Стучала мебель о стенку. Длительность колебаний – от 10–15 секунд до 1 минуты. Звенела посуда на полках и в сервантах. По ул. Партизанской (№№ 54 и 56) и ул. Первомайской (№ 1) отметили беспokoйство животных (лай собак до землетрясения и кричали куры). В Грушевском землетрясение ощущалось большинством населения. Спавшие проснулись. Многие слышали гул. Длительность колебаний – от 3–5 секунд до 1.5 минут. Толчки по направлению восток-запад. Некоторые ощущали два толчка. Дребезжала посуда, качались лампы, люстры, занавески. По ул. Гагарина (№ 39) в кирпичном доме (срок службы 20 лет), с фундаментом из камня с песком, образовалась трещина в потолке в направлении север-юг, переходящая на стену. Обои разорвались. При этом хозяева землетрясение не ощущали. Большинство населения села Дубовая Балка землетрясение ощущали, некоторые проснулись. Двигались мелкие предметы на телевизорах, сильно раскачивались люстры. Первый толчок – резкий, затем – мелкие колебания. Газопроводные трубы стучали в стену. В с. Высоцком землетрясение ощущалось большинством бодрствующего населения, некоторые спящие проснулись, некоторые слышали гул, качались лампочки, дребезжала посуда; в с. Ореховка – ощущали почти все бодрствующие, многие проснулись, дребезжала посуда, качались лампочки и занавески, некоторые слышали гул; в с. Султан – ощущалось большинством населения, некоторые проснулись, отмечался гул, колебались лампочки и люстры, дребезжала посуда; в с. Круглолесское – ощущали многие жители, некоторые проснулись от толчков, слышался слабый гул, качались лампочки, дребезжала посуда.

Еще в пяти селах наблюдались колебания с  **$I=3-4$  балла**. В Гофицком они ощущались большинством населения, находившемся в состоянии покоя. Многие проснулись. Слышался гул, как от пролетающего самолета. Качались люстры, дребезжала посуда. Стучали газовые трубы о стенку. Колебания по направлению восток-запад. В Александровском их ощущали люди, находившиеся в покое. Толчок с юго-запада. Длительность – до 1 минуты. Многие проснулись. Мел-

кое дрожание, как от проходящей рядом с домом тяжело груженой машины. Звенела посуда, скрипела мебель. В Южном переулке отметили лай собаки до землетрясения. В Падинском ощущали многие жители, некоторые проснулись от толчка. Резкие колебания в направлении восток-запад. В Курсавке многие жители ощущали плавные колебания по направлению восток-запад, особенно в многоэтажных домах. Длительность колебаний – около 1 минуты. Раскачивались люстры и лампочки, дребезжала посуда. Некоторые жители на верхних этажах испугались. В с. Просьянка ощущали многие бодрствующие, некоторые спящие проснулись. Качались лампочки, люстры, занавески, дребезжала посуда. Некоторые отмечали гул.

Основной толчок ощущался на большей части Ставропольского края. Обобщенные данные макросейсмического обследования Верхне-Янкульского землетрясения представлены в табл. 6, схема изосейст показана на рис. 6.

**Таблица 6.** Макросейсмические данные о Верхне-Янкульском землетрясении 19 октября 1999 г. в 18<sup>h</sup> 18<sup>m</sup> с  $K_p=12.1$ ,  $M_S=4.4$

№	Пункт	$\Delta$ , км	Звук	№	Пункт	$\Delta$ , км	Звук
1	<u>6–7 баллов</u> Верхний Янкуль	0.5	сильный гул	12	Калиновское	35	слабый гул
	13			Дубовая Балка	36		
2	<u>6 баллов</u> Новый Янкуль	10	гул	14	Ореховка	38	гул
	15			Грушевское	42		
3	<u>5–6 баллов</u> Нижний Янкуль	16	гул	<u>3–4 балла</u>			
	16			Просьянка	38		
4	<u>5 баллов</u> Сергиевское	18	гул	17	Крымгиреевское	40	
	18			Александровское	43		
5	Янкуль	24	гул	19	Курсавка	47	
	20			Ставрополь	47		
6	<u>4–5 баллов</u> Северное	27	гул	21	Гофицкое	47	
	7			Октябрь	22	Падинское	51
8	<u>4 балла</u> Кианкиз	29	гул	<u>3 балла</u>			
	23			Дон. Балка	46		
9	Круглолесское	33	слабый гул	24	Сух. Буйвола	48	
	25			Рог. Балка	55		
10	Султан	34	гул	26	Шишкино	57	
	27			Светлоград	57		
11	Высоцкое	34	гул	28	Пятигорск	104	

Ниже приводится расчет интенсивности в эпицентре в соответствии с различными значениями глубин по уравнению макросейсмического поля из [14], полученному при исследовании Ставропольского землетрясения 02.10.1971 г. в 10<sup>h</sup>56<sup>m</sup>41<sup>s</sup> с  $K_p=11$ ,  $M=4.5$  [15]:

$$I_0 = 1.5M - 4.3 \lg h + 4.7. \quad (2)$$

Согласно (2), расчетная интенсивность  $I_0^P$  в эпицентре Верхне-Янкульского землетрясения при  $M=4.4$  равна 7–8 баллам – при  $h=7$  км, 7 баллам – при  $h=10$  км и 6–7 баллам – при  $h=13$  км. Учитывая, что макросейсмический очаг находится, по-видимому, вблизи с. Верхний Янкуль, в котором землетрясение ощущалось с  $I=6–7$  баллов, можно предположить, что  $I_0$  в эпицентре также 6–7 баллов, тогда макросейсмическое значение глубины равно  $h_M=13$  км.

Верхне-Янкульское землетрясение произошло в Северном Предкавказье, представляющем собой вовлеченную в орогенез южную часть Скифской плиты [16] в районе восточного склона Ставропольского свода. Очаговая зона землетрясения может быть приурочена к Калаурскому субмеридиональному глубинному разлому [17] (рис. 7). Согласно геокинематической модели Скифской платформы Коппа [16], новейшие фазы деформаций плиты происходят под влиянием коллизионных событий на внутриплитные дислокации. Здесь характерны сбросовые движения, например, уступы на восточном погружении Ставропольского свода, где имеет место Георгиевско-Буденновский сброс [18]. Однако присутствуют в этой зоне и сдвиговые деформации, связанные со сжатием и поддвигом к северу Скифской плиты (рис. 7).



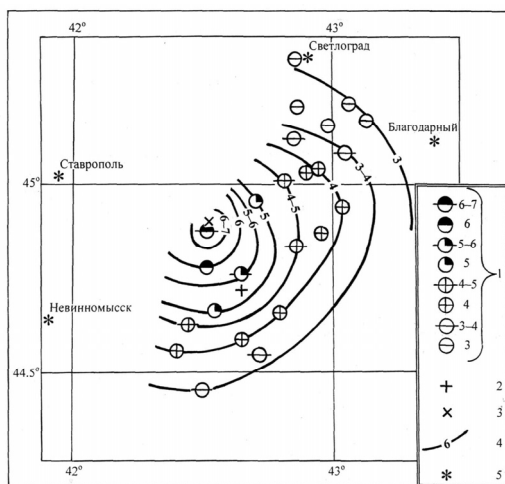


Рис. 6. Карта изосейст Верхне-Янкульского землетрясения 19 октября с  $K_p=12.1$ ,  $M_S=4.4$

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [13]; 2, 3 – эпицентр инструментальный и макросейсмический соответственно; 4 – изосейста.

Решение механизма очага [19] Верхне-Янкульского землетрясения получено по знакам первых вступлений  $P$ -волн на 21 станции и показано на рис. 8, параметры механизма приведены в табл. 7. Интервал эпицентральных расстояний равен  $\Delta=0.2-44.8^\circ$ . Азимутальное окружение эпицентра станциями близко к равномерному. Землетрясение произошло под действием несколько преобладающих напряжений растяжения. Одна из нодальных плоскостей  $NP1$  субширотна и наклонена к горизонту под углом  $43^\circ$ , тип движения – сброс с компонентой левостороннего сдвига. Другая плоскость  $NP2$  субмеридиональна, имеет северное–северо-западное простирание и крутое падение ( $DP=85^\circ$ ). В движении по ней также преобладают сбросовые компоненты. Описанное решение находится в соответствии с указанными выше (рис. 7) геокинематическими и тектоническими представлениями района [14, 16]. В качестве истинной плоскости разрыва можно предположить плоскость  $NP2$  в связи с тем, что ее субмеридиональное простирание аналогично простиранию близлежащего участка крупного сброса.

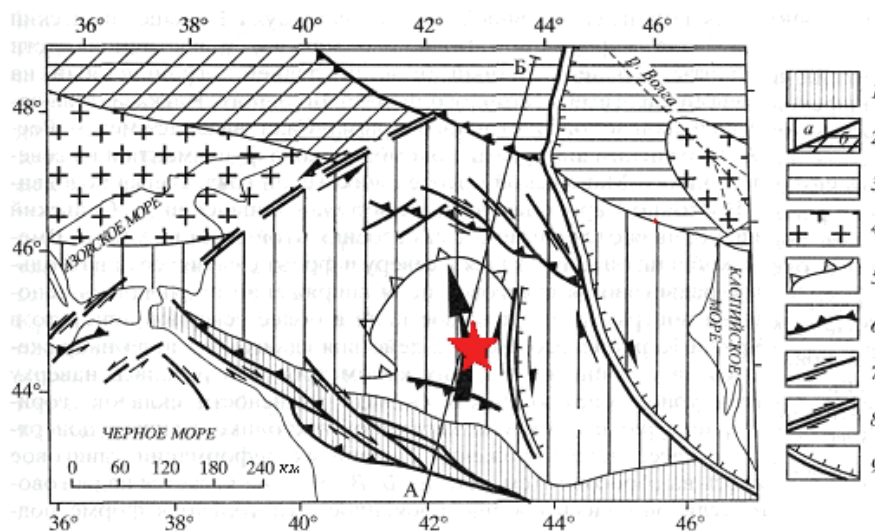
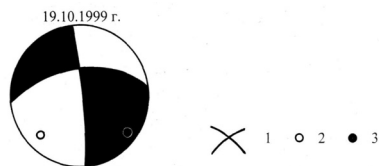


Рис. 7. Геокинематическая модель новейшей структуры Скифской платформы из [16]

Звездой помечено положение эпицентра Верхне-Янкульского землетрясения; вертикальный разрез по линии А–Б не приводится. Условные обозначения из [16]: 1 – Большой Кавказ; 2 – области палеозойской складчатости (а – Скифская плита, б – Донбасс); 3 – Восточно-Европейская платформа; 4 – поднятые блоки (антеклизы) докембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы; 5 – контур Ставропольского свода; 6 – молассовые прогибы; 7 – надвиги и взбросы; 8 – сдвиги; 9 – зоны простого сдвига в горизонтальной плоскости; 10 – крупные сбросы; большой стрелкой показано направление общего простого сдвига в вертикальной плоскости, вызванного поддвигом Аравийской плиты.



**Рис. 8.** Механизм очага Верхне-Янкульского землетрясения 19 октября 1999 г. с  $K_p=12.1$ ,  $MS=4.4$

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернены области волн сжатия.

**Таблица 7.** Параметры механизма очага Верхне-Янкульского землетрясения

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	Магнитуды		$K_p$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				$MS/n$	$MPSP/n$		T		N		P		NP1			NP2		
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
19.10	18 18 45.3	13	4.4/18	4.5/7	12.0	27	118	42	0	15	230	261	43	-7	356	85	-133	

**Предысторию сейсмичности** в исследуемом районе рассмотрим по данным из Нового каталога [20]. Всего выявлено десять ощутимых землетрясений (табл. 8). Это, прежде всего, четыре Ставропольских землетрясения (№№ 1, 2, 5, 10 – в табл. 8): I – 21.10.1827 г. с  $M=4.6$  и  $I_0=6-7$  баллов; II – 24.06.1881 г. с  $M=(4.0)$  и  $I_0=5-6$  баллов; III – 15.11.1909 г. с  $M=4.0$  и  $I_0=6$  баллов; IV – 02.10.1971 г. с  $M=4.5$  и  $I_0=8$  баллов (в [20] номер проставлен только для Ставропольского-IV землетрясения, а три предыдущих названы просто «Ставропольское», хотя логично первым трем Ставропольским землетрясениям так же, как и четвертому, присвоить номера, которые поэтому в табл. 8 взяты в скобки). Еще шесть землетрясений следующие: № 3 – Воровсколеское – 21.05.1895 г., № 4 – Усть-Джегутинское – 18.04.1909 г., № 6 – 21.12.1912 г., № 7 – 01.06.1947 г., № 8 – Владимирское – 23.11.1947 г., № 9 – Невинномысское – 25.12.1963 г.

Следует отметить, что, наряду с данными [20], для Ставропольского края существует каталог А.А. Никонова [21], в который эти десять землетрясений также включены, правда, без названий землетрясений. Однако параметры землетрясений в [21] согласуются с [20] лишь для одного из десяти землетрясений – Невинномысского с  $I_0=7$  баллов. Для остальных девяти землетрясений в [21] изменены даты, время в очаге, координаты эпицентров, магнитуды, глубины гипоцентров и, как следствие, балльность  $I_0$  в эпицентре. В восьми случаях она поставлена меньшей, нежели в [20]: 5 баллов вместо 6–7 баллов – для Ставропольского-I; 5 баллов вместо 5–6 баллов – для Ставропольского-II; 6–7 баллов вместо 7 баллов – для Воровсколеского; 4–5 баллов вместо 6 баллов – для Ставропольского-III; 6–7 баллов вместо 7 баллов – для Владимирского; 7–8 баллов вместо 8 баллов – для Ставропольского-IV. Принять такие существенные и систематические изменения без анализа соответствующих причин в каждом конкретном случае достаточно сложно, в силу чего для рис. 9 для всех десяти землетрясений использованы параметры из [20].

**Таблица 8.** Основные параметры ощутимых землетрясений за 1809–1999 гг. в районе Верхне-Янкульского землетрясения

№	Дата, д м год	$t_0$	Эпицентр		$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Примечание
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E				
1	21.10.1827	— — — $\pm 1$ сут	45.0 $\pm 0.5$	42.5 $\pm 0.5$	15 7–30	4.6 $\pm 0.7$	6–7 $\pm 1$	<b>Ставропольское(-I)</b>
2	24.06.1881	04 00 — $\pm 1$ час	44.9 $\pm 0.2$	42.1 $\pm 0.2$	(10) 3–30	(4.0) $\pm 0.7$	5–6 $\pm 1$	<b>Ставропольское(-II)</b> ф-ки: 23.06 в 23 <sup>h</sup> с $M=3.5$ , 24.06 в 02 <sup>h</sup> с $M=3.7$ ; а-к 23.07. в 20 <sup>h</sup>
3	12.05.1895	13 10 — $\pm 10$ мин	44.4 $\pm 0.1$	42.4 $\pm 0.1$	4 2–8	4.1 $\pm 0.5$	7 $\pm 0.5$	<b>Воровсколеское</b> ф-к 10.01 в 05 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> с $M \sim 2.5$
4	18.04.1909	10 45 — $\pm 10$ мин	44.1 $\pm 0.1$	42.0 $\pm 0.1$	9 6–14	4.6 $\pm 0.5$	6–7 $\pm 0.5$	<b>Усть-Джегутинское</b>
5	15.11.1909	16 50 — $\pm 10$ мин	45.1 $\pm 0.2$	42.1 $\pm 0.2$	8 5–12	4.0 $\pm 0.5$	6 $\pm 1$	<b>Ставропольское(-III)</b>

№	Дата, д м год	$t_0$	Эпицентр		$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Примечание
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$				
6	21.12.1912	22 29 — $\pm 10$ мин	45.0 $\pm 0.1$	42.1 $\pm 0.1$	6 3–12	3.9 $\pm 0.5$	6 $\pm 1$	
7	01.06.1947	09 28 08 $\pm 5$ с	44.9 $\pm 0.1$	42.0 $\pm 0.1$	6 4–9	3.5 $\pm 0.5$	5–6 $\pm 0.5$	
8	23.11.1947	05 37 16 $\pm 5$ с	45.3 $\pm 0.1$	43.2 $\pm 0.1$	3 1.5–6	3.5 $\pm 0.5$	7 $\pm 0.5$	Владимирское
9	25.12.1963	13 25 16 $\pm 5$ с	44.6 $\pm 0.1$	42.4 $\pm 0.1$	3 2–5	(3.8) 2–5	7 $\pm 0.5$	Невинномыское
10	02.10.1971	10 56 41 $\pm 1$ с	44.8 $\pm 0.1$	42.1 $\pm 0.1$	2.5 1–4	4.5 $\pm 0.3$	8 $\pm 0.5$	Ставропольское-IV

Как видим из рис. 9, перечисленные землетрясения, кроме №7, образуют довольно компактную группу, приуроченную к Ставропольскому своду Скифской плиты [17]. Активность достаточно высокая: за 190 лет реализовалось десять ощутимых землетрясений в диапазоне магнитуд  $M=3.0-4.6$  с интенсивностью от 5 до 8 баллов, т.е. в среднем одно такое событие примерно в 20 лет. При этом землетрясения образуют в пространстве две близмеридиональные полосы, западную и восточную, удаленные на расстояние 20–30 км. Верхне-Янкульское землетрясение приурочено к восточной полосе, несколько выклиниваясь на восток.

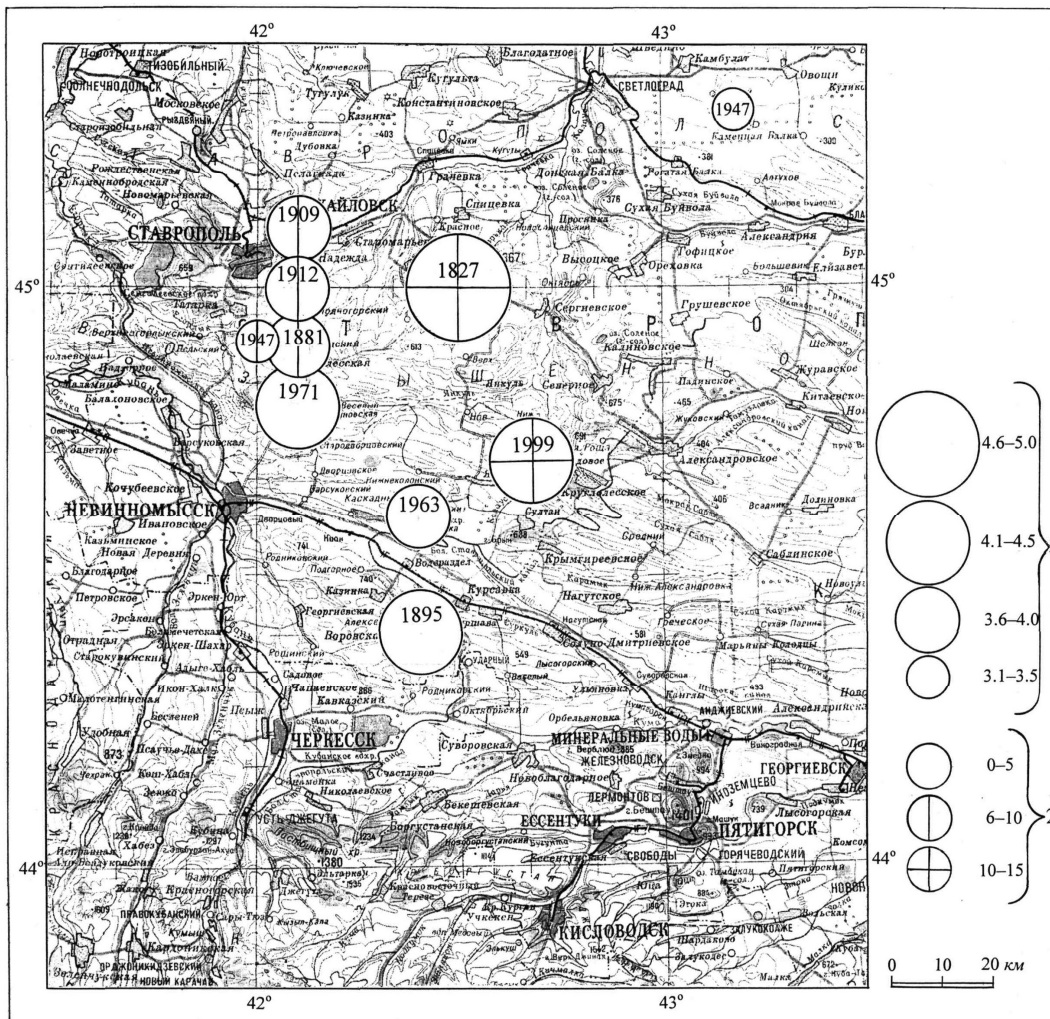


Рис. 9. Карта эпицентров ощутимых землетрясений в окрестности Верхне-Янкульского землетрясения за 1827–1999 гг.

1 – магнитуда  $M$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км.

Л и т е р а т у р а

1. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1999 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 1999–2000.
2. *Bulletin of the International Seismological Centre for 1999.* – Berkshire: ISC, 2001.
3. Габсатарова И.П., Амиров С.Р. (отв. сост.), Селиванова Е.А., Девяткина Л.В., Иванова Л.Е., Мусалаева З.А., Гамидова А.М., Сагателова Е.Ю., Абдуллаева А.Р. Северный Кавказ (включая Дагестан). (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
4. Свидлова В.А. (отв. сост.). Крым. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
5. Папалашвили В.Г., Ахалбедашвили А.М. Грузия. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
6. Гасанов А.Г., Абдуллаева Р.Р. Азербайджан. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
7. Bratt S.R., Bache T.C. Locating events with a space network of regional arrays // *Bull. Seism. Soc. Am.* – 1988. – V. 78. – С. 780–798.
8. Пивоварова Н.В., Славина Л.Б. Алгоритм и результаты машинного определения координат землетрясений по данным региональной сети (на примере Кавказа) // *Применение ЭВМ в сейсмологической практике (Методические работы ЕССН).* – М.: Наука, 1985. – С. 53–75.
9. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // *Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР; № 9(176)).* – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
10. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Северный, Восточный и Центральный Казахстан. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
11. Пустовитенко Б.Г. Форосское землетрясение 18 октября 1998 года с  $M_c=4.3$ ,  $I_0=5$  (Крым) // *Землетрясения Северной Евразии в 1998 году.* – Обнинск: ФООП, 2004. – С. 240–248.
12. Каменобродский А.Г., Пустовитенко Б.Г. Особенности группирования землетрясений Крымско-Черноморского региона // *Физика Земли.* – 1982. – № 11. – С. 25–32.
13. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
14. Зарайский М.П., Добрыченко А.В., Казин Э.А., Новицкая Н.А. Ставропольское землетрясение 2 октября 1971 г. // *Землетрясения в СССР в 1971 году.* – М.: Наука, 1975. – С. 32–35.
15. Папалашвили В.Г., Султанова З.З., Дарахвелидзе Л.К., Лебедева Т.М., Табуцадзе Ц.А., Кахиани Л.А., Лабадзе Л.В., Шаламберидзе Н.И., Бикашвили Л.А., Казиева С.Г., Чиковани В.В., Капанадзе А.А. Каталог землетрясений Каказа с  $K \geq 9$  за 1971 г. // *Землетрясения в СССР в 1971 году.* – М.: Наука, 1975. – С. 24–28.
16. Копп М.И. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. – М.: Наука, 2004. – 340 с.
17. Захарова А.И., Старовойт О.Е., Яковлев Ф.Л. Блоковая сейсмичность Северного Кавказа // *Дискретные свойства геофизической среды.* – М.: Наука, 1989. – С. 137–148.
18. Белоусов Т.П., Энман С.Б. Морфоструктурный план и тектонические движения Ставропольской возвышенности на четвертичном и современном этапах развития // *Геоморфология.* – 1999. – № 4. – С. 56–70.
19. Габсатарова И.П. Северный Кавказ (включая Дагестан). (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
20. Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.). II б. Кавказ [50–1974 гг.,  $M \geq 4.0$ ,  $I_0 \geq 5$ ] // *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
21. Никонов А.А. Каталог ощутимых землетрясений Ставропольского края. – М.: ОИФЗ РАН, 1995. – С. 7–16.